

СПРАВОЧНИК

Системы передачи информации, связи, телеметрии и управления

0. ВВОДНЫЙ БЛОК

0.1 Назначение и границы справочника

Данный справочник описывает системы передачи информации, связи, телеметрии и управления как инженерные и технические системы. Рассматриваются принципы работы, архитектура и классификация систем передачи данных независимо от конкретных производителей, коммерческих реализаций и пользовательских сервисов.

Цель справочника — сформировать целостное инженерное понимание систем связи, показать их эволюцию, взаимосвязь и фундаментальные принципы, общие для механических, электрических, электронных, радиочастотных, оптических и цифровых систем.

Справочник предназначен для инженеров, техников, студентов технических специальностей, специалистов по автоматизации, телекоммуникациям, информационным системам и всем, кто работает с передачей сигналов и управлением.

В справочник не входят:

маркетинговые и коммерческие описания услуг связи;

пользовательские инструкции и руководства;

прикладное программирование вне контекста передачи данных;

правовые, экономические и лицензионные аспекты отрасли.

Справочник фокусируется на вопросах «как устроено» и «почему работает».

0.2 Базовые определения: сигнал, канал, протокол, система

Сигнал — физическое изменение параметров среды, используемое для переноса информации. В качестве сигнала могут выступать электрическое напряжение, ток, электромагнитное поле, световой поток, акустическое давление, механическое перемещение и другие физические величины.

Канал — организованный путь распространения сигнала от источника к приёмнику. Канал определяется средой передачи, полосой пропускания, уровнем помех, задержками и вероятностью искажений или потерь.

Протокол — совокупность правил, определяющих формат данных, порядок их передачи, методы синхронизации, адресации, управления и контроля ошибок. Протокол реализуется поверх канала и не существует вне физической среды передачи.

Система связи — совокупность источника информации, средств формирования сигнала, канала передачи, приёмных устройств и механизмов интерпретации информации. Система включает процессы кодирования, передачи, приёма и использования данных как единое целое.

0.3 Оси классификации

Аналоговая / цифровая

Аналоговые системы передают непрерывные значения физических величин. Цифровые системы передают дискретные символы или биты, независимо от непрерывности физического сигнала.

Синхронная / асинхронная

Синхронные системы используют общий тактовый сигнал или фиксированную временную структуру.

Асинхронные системы передают данные без общего такта, используя стартовые, стоповые или событийные механизмы.

Односторонняя / двусторонняя

Односторонние системы обеспечивают передачу информации только в одном направлении.

Двусторонние системы поддерживают обмен данными в обоих направлениях.

Подвижная / неподвижная / гибридная

Классификация определяется мобильностью узлов системы связи, а не типом среды передачи.

Адресная / широковещательная

Адресные системы передают информацию конкретному получателю. Широковещательные системы передают информацию всем доступным приёмникам в зоне действия канала.

Hard Real-Time / Soft Real-Time / Non-Real-Time

Hard Real-Time — задержки передачи недопустимы и приводят к отказу системы.

Soft Real-Time — задержки допустимы в ограниченных пределах.

Non-Real-Time — временные характеристики передачи не являются критичными.

0.4 Уровни описания: среда → канал → протокол → сервис

Описание любой системы связи ведётся по уровням, отражающим переход от физической реальности к прикладному использованию информации.

Среда передачи — физическая сущность, в которой распространяется сигнал. Это может быть проводник, оптоволокно, радиопространство, вода, воздух, вакуум или механическая конструкция.

Среда определяет фундаментальные ограничения системы: скорость распространения, затухание, чувствительность к помехам.

Канал — логически и физически организованный путь передачи сигнала в выбранной среде. Канал включает параметры модуляции, полосу пропускания, допустимую мощность, уровень шумов, задержки и надёжность доставки. В одной среде может существовать несколько независимых каналов.

Протокол — формализованные правила обмена данными поверх канала. Протокол определяет структуру передаваемых данных, порядок передачи, способы синхронизации, адресации, подтверждения, повторов и обработки ошибок. Протокол не описывает физику сигнала, но опирается на свойства канала.

Сервис — функциональное назначение системы связи с точки зрения использования информации.

Сервис отвечает на вопрос, зачем осуществляется передача: голос, данные, телеметрия, управление, оповещение или их комбинация.

Разделение по уровням обязательно. Смешивание понятий среды, канала, протокола и сервиса приводит к терминологическим ошибкам и некорректным сравнениям систем.

0.5 Что не является системой связи (терминологические ошибки)

Не является системой связи отдельный физический эффект без организации передачи информации.

Само наличие электрического сигнала, радиоволны или светового импульса не образует систему.

Не является системой связи единичное устройство без канала и протокола. Генератор, датчик или индикатор сами по себе не образуют систему передачи информации.

Не является системой связи программное обеспечение, не связанное с передачей данных по каналу.

Приложения и вычислительные алгоритмы рассматриваются только в контексте используемых ими протоколов связи.

Не является системой связи коммерческая услуга или бренд. Название сервиса, тарифа или платформы не описывает техническую сущность системы.

Не тождественны понятия IP и интернет. IP — протокол сетевого уровня. Интернет — глобальная совокупность сетей, использующих множество протоколов и физических сред.

Не тождественны навигация и позиционирование. Навигация включает определение положения, времени и движения, тогда как позиционирование является лишь частью навигационных систем.

Термины «беспроводной», «цифровой», «умный», «сетевой» не являются классификацией без указания среды, канала и протокола.

ЧАСТЬ I. ФИЗИЧЕСКИЕ СРЕДЫ И ЛИНИИ СВЯЗИ

1. Механические системы передачи информации

Механические системы передачи информации используют неэлектрические физические воздействия для кодирования и передачи сигналов. Информация передаётся за счёт положения, движения или конфигурации материальных объектов. Эти системы являются исторически первыми и логически простейшими, но при этом формируют базовые принципы кодирования, синхронизации и адресации. Механическая связь не требует электричества и электроники, что делает её устойчивой к электромагнитным помехам и пригодной для аварийных и резервных применений.

Семафоры

Семафорные системы используют положение подвижных элементов (рук, флагов, рычагов) для передачи закодированных сообщений. Информация кодируется угловыми положениями и визуально воспринимается наблюдателем. Семафоры применялись в морской, железнодорожной и военной связи.

Сигнальные флаги

Флажковая сигнализация передаёт информацию посредством цвета, формы и положения флагов. Каждый флаг или их комбинация соответствует символу или команде. Система является визуальной, ширококонтрастной и требует прямой видимости между передающей и принимающей сторонами.

Сигнальные диски

Системы с сигнальными дисками используют вращающиеся или поворотные элементы с различной

окраской или формой. Положение диска кодирует информацию, которая считывается визуально.

Применялись в железнодорожной сигнализации и на промышленных объектах.

Механические индикаторы

Индикаторы отображают состояние системы через положение стрелок, флажков, табличек или других механических элементов. Передача информации осуществляется в пределах локальной зоны наблюдения и часто носит односторонний характер.

Механические кодовые барабаны

Кодовые барабаны содержат заранее нанесённые символы или метки. Поворот барабана на определённый угол соответствует передаче конкретного значения. Использовались в ранних телеграфных и управляющих устройствах.

Аварийные механические сигнализаторы

К данной категории относятся ручные звонки, колокола, сирены с механическим приводом и другие устройства, предназначенные для оповещения при отказе электрических систем. Информация передаётся в виде звукового или визуального сигнала без адресации.

Механические системы передачи информации характеризуются низкой скоростью, ограниченной дальностью и зависимостью от условий наблюдения, но заложили основы всех последующих систем связи.

2. Электромеханические системы связи

Электромеханические системы связи используют электрический сигнал для управления механическими исполнительными элементами. Передача информации осуществляется за счёт преобразования электрических импульсов в механическое движение и обратно. Эти системы стали переходным звеном между чисто механической и полностью электронной связью.

Ключевая особенность электромеханических систем — физическая наглядность логики работы: каждое состояние сигнала соответствует конкретному положению или срабатыванию механического элемента. Это обеспечивало высокую надёжность и ремонтпригодность при сравнительно низких скоростях передачи.

Телеграф Морзе

Телеграфные системы Морзе передают информацию в виде последовательности коротких и длинных импульсов тока. Электрический сигнал управляет электромагнитом, который приводит в движение пишущий механизм или звуковой сигнализатор. Кодирование осуществляется по таблице условных символов. Система является дискретной, асинхронной и односторонней либо двусторонней в зависимости от реализации.

Релейные системы

Релейная связь основана на использовании электромагнитных реле, переключающих электрические цепи при подаче управляющего сигнала. Реле выполняют функции усиления, логической обработки и

коммутации сигналов. Такие системы широко применялись в телеграфии, телефонии, автоматике и системах управления.

Шаговые искатели

Шаговые искатели представляют собой электромеханические коммутаторы, последовательно перемещающиеся по контактным позициям при поступлении импульсов. Каждый импульс вызывает механический шаг, соответствующий выбору канала или адреса. Искатели применялись в телефонных станциях и управляющих системах.

Декадно-шаговые АТС

Декадно-шаговые автоматические телефонные станции используют комбинацию шаговых искателей для маршрутизации вызовов. Набор номера формирует последовательность импульсов, управляющих механической коммутацией линий. Системы обеспечивают двустороннюю связь и автоматическую установку соединения.

Электромеханическая сигнализация

К электромеханической сигнализации относятся системы оповещения и контроля, использующие реле, электромагниты, звонки, табло и индикаторы. Такие системы применялись в промышленности, транспорте и энергетике для передачи состояний, тревог и команд управления.

Электромеханические системы связи отличаются высокой надёжностью, устойчивостью к помехам и простотой диагностики, но ограничены по скорости, плотности каналов и гибкости по сравнению с электронными системами.

3. Электрические проводные линии связи

Электрические проводные линии связи используют проводящую среду для передачи электрических сигналов между узлами системы. Передача информации осуществляется за счёт изменения напряжения, тока или их комбинаций. Проводные линии обеспечивают предсказуемые параметры канала, высокую надёжность и управляемые характеристики передачи.

Двухпроводные и четырёхпроводные линии

Двухпроводные линии используют одну пару проводников для передачи сигналов в обоих направлениях, как правило с разделением по времени или частоте. Четырёхпроводные линии используют отдельные пары для передачи и приёма, что снижает взаимные помехи и повышает качество связи.

Витая пара

Витая пара состоит из двух изолированных проводников, скрученных между собой для снижения электромагнитных наводок. Применяется в телефонии, локальных сетях и промышленных системах. Поддерживает аналоговую и цифровую передачу, симметричную линию и дифференциальную передачу сигналов.

Коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель содержит центральный проводник, диэлектрик и экранирующую оплётку. Такая конструкция обеспечивает высокую помехозащищённость и стабильное волновое сопротивление.

Применяется в радиочастотных системах, кабельном телевидении и измерительных линиях.

Подземные и кабельные линии

Кабельные линии, проложенные под землёй или в кабельных сооружениях, обеспечивают защиту от внешних воздействий и стабильные условия эксплуатации. Используются для магистральной, городской и промышленной связи.

Наземные и воздушные линии

Воздушные линии прокладываются на опорах и используют открытое пространство в качестве окружающей среды. Они экономичны в развертывании, но подвержены климатическим и механическим воздействиям. Применяются в сельской связи, энергетике и временных линиях.

Промышленные и шахтные линии

Специализированные линии связи для промышленных объектов и шахт рассчитаны на тяжёлые условия эксплуатации, повышенные помехи и требования к взрывобезопасности. Используются для связи, телеметрии и управления оборудованием.

PLC по силовым линиям

PLC использует существующие силовые электрические сети для передачи данных путём наложения высокочастотных сигналов на линию электропитания. Такие системы позволяют передавать информацию без прокладки дополнительных кабелей, но ограничены уровнем шумов и нестабильностью канала.

Электрические проводные линии связи являются базой для построения большинства классических и современных систем передачи информации, обеспечивая физическую основу для аналоговых, цифровых и гибридных каналов.

ЧАСТЬ II. ВНУТРИСИСТЕМНЫЕ И ВСТРОЕННЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

4. Связь между микрокомпонентами

Связь между микрокомпонентами предназначена для обмена данными внутри электронных устройств и встроенных систем. Такие интерфейсы работают на малых расстояниях, используют согласованные электрические уровни и ориентированы на надёжность, предсказуемые задержки и простоту аппаратной реализации.

Данные системы являются основой взаимодействия микроконтроллеров, датчиков, памяти, дисплеев и периферийных устройств. Как правило, они не предназначены для масштабирования на большие расстояния и не используют сложную маршрутизацию.

I²C

I²C представляет собой двухпроводную синхронную шину с общей линией данных и линии тактирования. Поддерживает адресацию устройств и работу в режиме ведущий–ведомый.

Применяется для подключения датчиков, часов реального времени, энергонезависимой памяти и вспомогательных микросхем.

SPI

SPI является синхронным интерфейсом с отдельными линиями данных и тактирования. Отличается высокой скоростью передачи и простой логикой протокола. Адресация осуществляется через отдельные линии выбора устройств. Используется для связи с памятью, АЦП, ЦАП и дисплеями.

UART

UART обеспечивает асинхронную последовательную передачу данных с использованием стартовых и стоповых битов. Не требует общего тактового сигнала. Применяется для отладки, обмена данными между микроконтроллерами и подключения внешних модулей.

1-Wire

1-Wire использует одну линию данных и общую землю для питания и обмена информацией. Поддерживает уникальную идентификацию устройств. Применяется в датчиках температуры, идентификаторах и простых сенсорных устройствах.

SMBus

SMBus является развитием I²C, ориентированным на управление питанием и системными компонентами. Используется в компьютерных и встраиваемых системах для мониторинга состояния и конфигурации оборудования.

MIPI

Интерфейсы семейства MIPI предназначены для высокоскоростной передачи данных между процессорами, камерами, дисплеями и сенсорами в мобильных устройствах. Используют дифференциальную передачу и строгую синхронизацию.

LVDS

LVDS применяет низковольтную дифференциальную передачу сигналов для уменьшения помех и повышения скорости. Используется для передачи данных между платами, дисплеями и высокоскоростными модулями.

Связь между микрокомпонентами характеризуется жёсткими требованиями к электрическим параметрам, длине линий и согласованию сигналов и является фундаментом для всех встроенных электронных систем.

5. Внутриплатные и межплатные шины

Внутриплатные и межплатные шины предназначены для обмена данными между функциональными блоками электронных систем на одной плате или между несколькими платами. Эти шины обеспечивают стандартизованный способ передачи данных, управления и адресации устройств с различными скоростями и требованиями к надёжности.

Шины могут быть параллельными или последовательными, синхронными или асинхронными, ориентированными на вычислительные системы либо на промышленную автоматизацию.

PCI / PCIe

PCI и PCI Express используются для высокоскоростного обмена данными между центральным процессором и периферийными устройствами. PCIe реализует последовательную передачу с дифференциальными линиями и масштабируемой пропускной способностью. Применяется в компьютерах, серверах и встраиваемых платформах.

ISA (устар.)

ISA — параллельная шина ранних персональных компьютеров. Использовалась для подключения плат расширения и периферийных устройств. Характеризуется низкой скоростью и отсутствием современных механизмов управления, в настоящее время считается устаревшей.

VME

VME — модульная шина, применяемая в промышленных, военных и научных системах. Поддерживает многомастерный режим, высокую надёжность и длительный жизненный цикл оборудования.

CAN (локальный)

CAN может использоваться не только как полевая сеть, но и как локальная шина для обмена данными между платами и модулями. Обеспечивает приоритетную передачу сообщений и устойчивость к помехам.

RS-485

RS-485 представляет собой электрический интерфейс для дифференциальной передачи данных по многоточечной линии. Используется как физический уровень для различных протоколов и обеспечивает надёжную связь на значительных расстояниях.

6. Встроенные сети устройств

Встроенные сети устройств объединяют несколько узлов в рамках одной системы управления, автоматизации или мониторинга. Такие сети ориентированы на предсказуемое поведение, работу в реальном времени и устойчивость к помехам.

CAN

CAN используется для обмена сообщениями между контроллерами и исполнительными устройствами. Поддерживает приоритет сообщений, обнаружение ошибок и автоматическое восстановление после сбоев.

LIN

LIN предназначен для недорогих и низкоскоростных сетей, обычно в автомобильных системах. Использует архитектуру ведущий-ведомый и простую реализацию.

FlexRay

FlexRay обеспечивает высокоскоростную и детерминированную передачу данных с поддержкой жёсткого реального времени. Применяется в системах с повышенными требованиями к надёжности и синхронизации.

Profibus

Profibus используется в промышленной автоматизации для связи контроллеров, датчиков и

исполнительных механизмов. Поддерживает различные профили и режимы работы.

Modbus RTU

Modbus RTU является простым и широко распространённым протоколом для обмена данными по последовательным линиям. Применяется в системах мониторинга и управления.

EtherCAT

EtherCAT представляет собой высокоскоростную промышленную сеть с минимальными задержками. Использует принцип обработки кадров «на лету» и обеспечивает точную синхронизацию устройств. Встроенные сети устройств формируют основу современных систем автоматизации, управления и распределённых встроенных решений.

ЧАСТЬ III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

7. Аналоговые электрические системы

Аналоговые электрические системы передают информацию в виде непрерывных электрических величин. Значение сигнала напрямую соответствует передаваемому параметру. Такие системы просты по структуре, наглядны и широко применяются в измерениях, телеметрии и управлении.

4–20 мА

Токовая петля 4–20 мА используется для передачи измерительных сигналов в промышленной автоматике. Обеспечивает высокую помехоустойчивость и возможность обнаружения обрыва линии.

0–10 В

Напряженный интерфейс, применяемый для передачи аналоговых значений между датчиками и контроллерами. Чувствителен к помехам и падению напряжения на линии.

±10 В

Двуполярный аналоговый сигнал используется в системах управления приводами, измерительной технике и лабораторных установках.

Аналоговая телефония

Передача речи осуществляется в виде непрерывного электрического сигнала, соответствующего акустическим колебаниям. Использует полосы частот и аналоговые усилители.

Аналоговая телеметрия

Применяется для передачи измерительных параметров без дискретизации. Используется в простых и специализированных системах мониторинга.

8. Электроламповые системы

Электроламповые системы используют вакуумные лампы для генерации, усиления и модуляции электрических сигналов. Эти системы стали основой ранней радиосвязи и электронной телефонии.

Ламповые радиопередатчики

Используют электронные лампы для генерации и усиления радиочастотных колебаний. Отличаются высокой выходной мощностью и простотой схемных решений.

Ламповые усилители

Применяются для усиления аудио- и радиочастотных сигналов. Характеризуются высокой линейностью и устойчивостью к перегрузкам.

Ламповая телефония

Использовала ламповые усилители и коммутаторы для передачи и усиления голосовых сигналов на большие расстояния.

9. Электрические дискретные системы

Электрические дискретные системы передают информацию в виде отдельных состояний или импульсов. Они являются переходным этапом от аналоговой к цифровой связи.

Телеграфный код

Передача информации осуществляется с помощью дискретных электрических импульсов, соответствующих условным символам.

Код Бодо

Пятибитный телеграфный код, использовавшийся в телетайпных системах. Обеспечивает фиксированную длину символов и упрощённую синхронизацию.

Импульсные линии

Используют наличие или отсутствие импульса для передачи информации. Применялись в ранних системах автоматики и сигнализации.

Релейная логика

Использует реле для реализации логических функций и передачи дискретных состояний в системах управления.

10. Электронные цифровые системы

Электронные цифровые системы передают информацию в виде цифровых сигналов с использованием электронных компонентов. Они обеспечивают высокую скорость, точность и масштабируемость.

TTL / CMOS

Логические семейства, определяющие уровни напряжений и параметры цифровых сигналов.

Используются в цифровых схемах и вычислительных устройствах.

Синхронная передача

Передача данных осуществляется с использованием общего тактового сигнала, что обеспечивает высокую скорость и упрощённую обработку данных.

Асинхронная передача

Передача данных осуществляется без общего такта с использованием служебных битов и временных интервалов.

Цифровые интерфейсы

Совокупность стандартов и протоколов, обеспечивающих обмен цифровыми данными между электронными устройствами.

ЧАСТЬ IV. ТЕЛЕФОНΙΑ И ТЕЛЕКОММУТАЦИЯ

11. Телефония как класс связи

Телефония представляет собой класс систем связи, предназначенных для передачи речевой информации в реальном времени. Характерной особенностью телефонии является двусторонняя интерактивная связь с жёсткими требованиями к задержкам и качеству канала.

Телефония включает в себя абонентские устройства, линии связи, системы коммутации и сигнальные протоколы. Исторически телефония стала основой развития массовых сетей связи и телекоммуникационной инфраструктуры.

POTS

POTS — классическая аналоговая телефония с использованием двухпроводной абонентской линии. Обеспечивает передачу голоса и базовые сервисы сигнализации.

PSTN

PSTN представляет собой глобальную сеть телефонных станций и линий, обеспечивающих коммутируемую голосовую связь. Включает как аналоговые, так и цифровые сегменты.

Ведомственная телефония

Ведомственные системы телефонии используются внутри организаций и предприятий. Могут быть автономными или подключёнными к внешним сетям.

12. Аналоговая телефония

Аналоговая телефония основана на передаче непрерывного речевого сигнала по проводным линиям связи. Системы характеризуются простотой, но ограничены по функциональности и качеству передачи.

Двухпроводные линии

Используются для одновременной передачи и приёма сигналов по одной паре проводов. Разделение осуществляется с помощью гибридных схем.

Декадный набор

Метод набора номера, при котором каждая цифра передаётся в виде серии импульсов размыкания линии. Использовался в ранних телефонных аппаратах и АТС.

DTMF

DTMF использует сочетание двух тональных частот для передачи цифр и управляющих команд.

Позволяет более быструю и надёжную сигнализацию по сравнению с декадным набором.

13. Цифровая телефония

Цифровая телефония использует дискретное представление речи и цифровую коммутацию каналов. Это повышает качество связи, плотность каналов и возможности управления сетью.

ISDN (устар.)

ISDN обеспечивает цифровую передачу голоса и данных по телефонным линиям. Использовал каналы

фиксированной пропускной способности и строгую синхронизацию.

E1 / T1

Цифровые потоки E1 и T1 применяются для передачи множества телефонных каналов по одной линии.

Используются в магистральных и ведомственных сетях.

SS7

SS7 — сигнальная система, отделённая от голосовых каналов. Обеспечивает управление вызовами, маршрутизацию и дополнительные сервисы телефонии.

14. Современная телефония

Современные системы телефонии реализуют передачу голоса поверх пакетных сетей и IP-инфраструктуры. Коммутация каналов заменяется коммутацией пакетов.

SIP

SIP используется для установления, изменения и завершения сеансов связи. Работает поверх IP-сетей и не передаёт медиа-данные напрямую.

H.323

H.323 — комплекс протоколов для мультимедийной связи по пакетным сетям. Исторически применялся в ранних системах IP-телефонии.

RTP

RTP обеспечивает передачу голосовых и мультимедийных потоков в реальном времени. Работает совместно с сигнальными протоколами.

VoIP

VoIP объединяет технологии передачи голосовой информации по IP-сетям. Используется в корпоративных, операторских и пользовательских системах связи.

ЧАСТЬ V. РАДИОСВЯЗЬ

15. Наземная радиосвязь

Наземная радиосвязь использует электромагнитные волны для передачи информации без проводной среды. Распространение радиосигнала зависит от частотного диапазона, мощности передатчика, типа модуляции и условий окружающей среды.

LF / MF / HF

Низкие и средние частоты используются для дальней и региональной связи. HF-диапазон позволяет осуществлять связь на большие расстояния за счёт отражения радиоволн от ионосферы.

VHF / UHF

Диапазоны VHF и UHF применяются для прямой радиосвязи в пределах прямой видимости. Используются в авиации, морской связи, служебных и любительских радиосистемах.

AM

Амплитудная модуляция кодирует информацию изменением амплитуды несущей. Обладает простой реализацией, но низкой помехоустойчивостью.

FM

Частотная модуляция передаёт информацию изменением частоты несущей. Обеспечивает более высокое качество передачи и устойчивость к шумам.

PM

Фазовая модуляция использует изменение фазы несущей для передачи информации. Применяется в аналоговых и цифровых радиосистемах.

16. Дальняя радиосвязь

Дальняя радиосвязь предназначена для передачи информации на расстояния, превышающие зону прямой видимости. Использует особенности распространения радиоволн в атмосфере.

HF (ионосферная)

Использует отражение радиоволн от ионосферы для связи на межконтинентальные расстояния.

Зависит от времени суток, солнечной активности и состояния ионосферы.

Тропосферная

Тропосферная связь использует рассеяние радиоволн в нижних слоях атмосферы. Применялась для надгоризонтной связи на средних и больших расстояниях.

RTTY

RTTY — радиотелетайпная связь, передающая текстовые данные с использованием частотной или фазовой манипуляции. Использовалась в военной и служебной связи.

AХ.25

AХ.25 — протокол пакетной радиосвязи, применяемый в любительских радиосетях. Обеспечивает адресацию и передачу данных поверх радиоканала.

ЧАСТЬ VI. МАССОВАЯ ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНАЯ СВЯЗЬ

17. Радиовещание

Радиовещание предназначено для односторонней передачи аудиосигналов неограниченному числу приёмников. Системы радиовещания ориентированы на широкое покрытие, высокую надёжность и простоту приёмных устройств.

АМ-радио

АМ-радиовещание использует амплитудную модуляцию и работает в длинноволновом, средневолновом и коротковолновом диапазонах. Обеспечивает большую дальность, но ограниченное качество звука.

FM-радио

FM-радиовещание использует частотную модуляцию и обеспечивает более высокое качество звука по

сравнению с АМ. Работает в диапазоне ультракоротких волн.

DRM

DRM — цифровой стандарт радиовещания, предназначенный для замены аналогового АМ и FM.

Обеспечивает улучшенное качество звука и передачу дополнительных данных.

18. Телевидение

Телевидение предназначено для широковещательной передачи аудиовизуальной информации.

Эволюция телевизионных систем отражает переход от аналоговых к цифровым технологиям.

PAL (устар.)

PAL — аналоговый стандарт цветного телевидения, использовавшийся в ряде регионов. Обеспечивал устойчивость цветопередачи.

SECAM (устар.)

SECAM — аналоговый стандарт телевидения с частотной модуляцией цветоразностных сигналов.

Применялся в ряде стран.

NTSC (устар.)

NTSC — ранний аналоговый стандарт цветного телевидения. Отличался высокой чувствительностью к фазовым искажениям.

DVB-T / DVB-C / DVB-S

Семейство цифровых стандартов телевидения для эфирного, кабельного и спутникового вещания.

Обеспечивает высокое качество изображения и передачу дополнительных сервисов.

ATSC

ATSC — цифровой стандарт телевидения, применяемый в Северной Америке. Поддерживает передачу высококачественного видео и аудио.

ЧАСТЬ VII. СВЕТОВАЯ, ИНФРАКРАСНАЯ И АКУСТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

19. Оптоволоконная связь

Оптоволоконная связь использует световое излучение для передачи информации по оптическому волокну. Передача осуществляется за счёт модуляции светового потока, распространяющегося внутри волокна по принципу полного внутреннего отражения. Такие системы обеспечивают высокую пропускную способность, малые потери и устойчивость к электромагнитным помехам.

Ethernet over Fiber

Использование оптоволоконной среды для передачи кадров Ethernet. Применяется в локальных и магистральных сетях для увеличения дальности и скорости передачи.

GPON

GPON — пассивная оптическая сеть, предназначенная для массового подключения абонентов.

Использует разделение оптического сигнала между несколькими приёмниками.

SDH

SDH — иерархия синхронной цифровой передачи, применяемая в магистральных оптоволоконных сетях. Обеспечивает строгую синхронизацию и высокую надёжность.

20. Лазерная связь (FSO)

Лазерная связь использует узконаправленные оптические лучи для передачи информации через свободное пространство. Не требует прокладки кабеля, но чувствительна к погодным условиям и точности наведения.

Point-to-point FSO

Соединение между двумя фиксированными точками с прямой видимостью. Применяется для временных и резервных каналов связи.

Гибрид FSO + RF

Комбинация лазерной и радиосвязи для повышения надёжности канала. Радиоканал используется как резерв при ухудшении оптических условий.

21. Инфракрасная передача

Инфракрасная связь использует электромагнитное излучение инфракрасного диапазона для передачи данных на короткие расстояния. Требуется прямой или отражённой видимости между устройствами.

IrDA (устар.)

IrDA использовался для беспроводного обмена данными между устройствами на малых расстояниях. Характеризуется направленной передачей и ограниченной скоростью.

IR-порт

Аппаратный интерфейс инфракрасной связи, применявшийся в бытовой и вычислительной технике для обмена данными и управления.

Сервисные IR-каналы

Инфракрасные каналы, применяемые для обслуживания и настройки оборудования, в том числе в промышленной и медицинской технике.

Пульты IR-протоколы

Используются в системах дистанционного управления. Передают команды в виде модулированных инфракрасных импульсов.

22. Li-Fi и VLC

Системы передачи данных с использованием видимого света основаны на модуляции источников освещения. Обеспечивают одновременное освещение и передачу информации.

VLC

VLC использует видимый свет для передачи данных на короткие расстояния. Применяется в специализированных и экспериментальных системах.

Li-Fi

Li-Fi — развитие концепции VLC с поддержкой сетевых протоколов и двусторонней связи. Использует светодиодные источники света.

Модуляция LED

Изменение интенсивности свечения светодиодов с высокой частотой, незаметной для человека, используется для кодирования данных.

23. Акустическая связь

Акустическая связь использует звуковые и ультразвуковые волны для передачи информации.

Применяется в средах, где электромагнитная связь затруднена или невозможна.

Аналоговая акустика

Передача информации с использованием непрерывных звуковых сигналов. Применяется в простых и исторических системах.

Цифровая акустика

Использует дискретное кодирование и модуляцию акустических сигналов. Применяется в специализированных системах передачи данных.

Подводная акустическая связь

Основной способ связи под водой. Используется в морских, научных и военных системах для передачи данных на значительные расстояния.

ЧАСТЬ VIII. КОМПЬЮТЕРНЫЕ И IP-СЕТИ

24. Компьютерные сети

Компьютерные сети — это системы передачи данных между вычислительными устройствами, построенные на стандартизованных протоколах и многоуровневой архитектуре. Они обеспечивают адресацию, доставку, управление потоком данных и взаимодействие между узлами.

Компьютерная сеть может быть локальной, корпоративной, промышленной, изолированной или глобальной. Использование IP-протоколов не тождественно понятию интернет.

Ethernet

Ethernet — семейство стандартов канального и физического уровней, регламентированных IEEE 802.3. Стандарты определяют формат кадров, MAC-адресацию, методы доступа к среде, скорости передачи, режимы дуплекса и типы физических сред. Ethernet функционирует в пределах одного широковещательного домена и не выполняет маршрутизацию.

IP

IP — сетевой протокол, стандартизованный IETF. IPv4 описан в RFC 791, IPv6 — в RFC 8200. Протокол обеспечивает логическую адресацию и маршрутизацию пакетов между сетями. IP не гарантирует доставку, порядок следования и целостность пакетов.

TCP

TCP — транспортный протокол, стандартизованный IETF (RFC 793 и последующие). Обеспечивает установление соединения, надёжную доставку данных, нумерацию сегментов, подтверждения, повторные передачи, управление потоком и перегрузкой. Работает поверх IP.

UDP

UDP — транспортный протокол без установления соединения, стандартизованный IETF (RFC 768). Определяет минимальный формат датаграммы и механизм контрольной суммы. Не обеспечивает подтверждений, повторной передачи и управления потоком. Используется в системах реального времени и служебных протоколах.

ICMP

ICMP — служебный протокол сетевого уровня, стандартизованный IETF. Для IPv4 описан в RFC 792, для IPv6 — в RFC 4443. Используется для передачи сообщений об ошибках, диагностике и уведомлениях о состоянии сети. Не предназначен для передачи пользовательских данных.

Компьютерные сети описываются через строгое разделение уровней: физическая среда, канальный протокол, сетевой протокол и транспорт. Смешивание уровней является терминологической ошибкой.

ЧАСТЬ IX. БЕСПРОВОДНЫЕ И МОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

25. WPAN / WLAN / WAN / WWAN

Беспроводные сети предназначены для передачи данных без использования проводной физической среды. Передача осуществляется по радиоканалу с использованием стандартизованных диапазонов частот, методов модуляции и протоколов доступа к среде. Классификация беспроводных сетей определяется зоной покрытия, энергопотреблением, мобильностью узлов и архитектурой управления. WPAN, WLAN, WAN и WWAN не являются конкурентами — они решают разные задачи и часто используются совместно в одной системе.

WPAN — Wireless Personal Area Network

WPAN предназначены для связи устройств на очень малых расстояниях с минимальным энергопотреблением. Используются в персональных, сенсорных и встраиваемых системах.

Bluetooth

Стандарт беспроводной персональной сети, разрабатываемый Bluetooth SIG. Предназначен для связи устройств на малых расстояниях. Поддерживает Bluetooth Classic для передачи данных и аудио, а также Bluetooth Low Energy (BLE) для энергоэффективных сенсорных и управляющих приложений.

Zigbee

Протокол беспроводных сетей малой мощности, построенный поверх физического и канального уровней IEEE 802.15.4. Ориентирован на автоматизацию, управление и сенсорные сети. Поддерживает ячеистую топологию и низкое энергопотребление.

Thread

Сетевой протокол для IoT-устройств, использующий IEEE 802.15.4 и IPv6. Обеспечивает надёжную mesh-сеть с автоматической маршрутизацией и отказоустойчивостью.

UWB

Сверхширокополосная технология радиосвязи, использующая короткие импульсы с широкой полосой частот. Применяется для высокоточного позиционирования и измерения расстояний.

NFC

Технология ближней беспроводной связи с радиусом действия до нескольких сантиметров.

Используется для идентификации, платёжных систем и контроля доступа.

WLAN — Wireless Local Area Network

WLAN предназначены для беспроводного подключения устройств в пределах зданий, помещений или ограниченных территорий. Основная стандартизация осуществляется IEEE.

Wi-Fi (IEEE 802.11)

Семейство стандартов беспроводных локальных сетей IEEE 802.11. Определяет физический и канальный уровни, диапазоны частот, ширину каналов, методы модуляции, скорости передачи, механизмы доступа к среде и безопасности. Используется для построения локальных и корпоративных IP-сетей.

WAN — Wireless Wide Area Network

WAN предназначены для беспроводной передачи данных на больших расстояниях между стационарными узлами. Как правило, используются направленные каналы и операторский класс оборудования.

WiMAX (IEEE 802.16)

Стандарт беспроводных широкополосных сетей, предназначенный для передачи данных на городских и региональных расстояниях. Использовался как альтернатива проводным магистралям и DSL.

LMDS / MMDS

Микроволновые распределительные системы, применявшиеся для беспроводного доступа и передачи данных в городской инфраструктуре. Используют высокочастотные направленные радиоканалы.

Радиорелейные линии

Используют микроволновые направленные каналы между стационарными узлами с прямой видимостью. Применяются для магистральных, резервных и транспортных каналов WAN.

WWAN — Wireless Wide Area Network (мобильные и операторские)

WWAN обеспечивают беспроводную связь на больших территориях с поддержкой подвижных абонентов. Основаны на сотовой архитектуре и централизованном управлении радиоресурсами.

Основная стандартизация осуществляется ETSI и 3GPP.

26. Мобильная связь

Мобильная связь предназначена для обеспечения двусторонней связи с подвижными абонентами на больших территориях. Использует сотовую архитектуру, централизованное управление и стандартизованные радиоинтерфейсы. Передача данных и речи осуществляется по радиоканалу с последующей коммутацией в ядре сети.

Мобильные системы развиваются поколениями, при этом внутри каждого поколения существуют технологические семейства и промежуточные этапы.

1G (устар.)

Аналоговые системы мобильной связи. Обеспечивали только голосовую связь. Не поддерживали шифрование и передачу данных.

GSM (2G)

Цифровая система мобильной связи второго поколения. Обеспечивает цифровую голосовую связь и SMS. Использует коммутацию каналов для передачи речи.

GPRS (2.5G)

Пакетное расширение GSM. Вводит передачу данных поверх GSM с использованием IP. Обеспечивает базовый мобильный доступ к данным.

EDGE (2.75G)

Развитие GPRS с более эффективной модуляцией. Повышает скорость пакетной передачи данных без изменения инфраструктуры GSM.

UMTS (3G)

Система третьего поколения с широкополосным радиоинтерфейсом. Поддерживает пакетную передачу данных и мультимедийные сервисы.

HSDPA (3.5G)

Технология ускоренной нисходящей пакетной передачи данных в сетях UMTS. Существенно повышает скорость и снижает задержки.

HSUPA (3.75G)

Технология ускоренной восходящей передачи данных. Дополняет HSDPA.

HSPA / HSPA+

Семейство технологий, объединяющее HSDPA и HSUPA. HSPA+ повышает спектральную эффективность и скорости передачи. Переходный этап к LTE.

LTE (4G)

Система мобильной связи четвёртого поколения. Использует полностью пакетную архитектуру, низкие задержки и высокую пропускную способность.

LTE Advanced / LTE Advanced Pro

Расширения LTE с поддержкой агрегации частот, MIMO и высокой ёмкости сети. Формально соответствуют требованиям IMT-Advanced.

NR (5G)

Радиоинтерфейс пятого поколения. Поддерживает сверхнизкие задержки, высокую пропускную способность и массовое подключение устройств.

5G NSA

Режим 5G с использованием ядра LTE для сигнализации и управления.

5G SA

Полноценная архитектура 5G с новым ядром сети и полной реализацией возможностей пятого поколения.

NB-IoT

Узкополосная технология связи для IoT. Ориентирована на минимальное энергопотребление и глубокое покрытие.

LTE-M

Технология связи для IoT с поддержкой мобильности, более высоких скоростей и голосовых сервисов по сравнению с NB-IoT.

ЧАСТЬ X. ГЛОБАЛЬНЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

27. Континентальная связь

Континентальная связь предназначена для передачи информации на масштабах стран и континентов. Такие системы образуют опорную инфраструктуру связи и используются операторами, государственными и промышленными структурами. Характеризуются высокой пропускной способностью, резервированием и строгими требованиями к надёжности.

Магистральные кабели

Магистральные кабели обеспечивают передачу данных между крупными узлами сети. Используются оптоволоконные линии с высокой плотностью каналов и протоколами операторского уровня.

Применяются для построения национальных и региональных сетей связи.

Радиорелейные линии

Радиорелейные линии используют направленные микроволновые каналы между стационарными узлами с прямой видимостью. Применяются для магистральной и резервной связи, а также в труднодоступных районах. Обеспечивают высокую скорость передачи и малые задержки.

28. Межконтинентальная связь

Межконтинентальная связь обеспечивает передачу информации между удалёнными регионами Земли. Использует как проводные, так и беспроводные среды передачи с глобальным охватом.

Подводные кабели

Подводные оптоволоконные кабели являются основой межконтинентальной передачи данных. Обеспечивают высокую пропускную способность и низкие задержки. Используются для передачи интернет-трафика, телефонных и корпоративных данных.

HF-радио

Коротковолновая радиосвязь использует отражение радиоволн от ионосферы для передачи информации на межконтинентальные расстояния. Применяется как резервный и аварийный канал связи.

Спутниковый резерв

Спутниковые каналы используются как резервные или вспомогательные средства

межконтинентальной связи. Обеспечивают связь в случае отказа кабельной инфраструктуры.

29. Спутниковая связь

Спутниковая связь использует искусственные спутники Земли в качестве ретрансляторов сигналов.

Обеспечивает глобальное или региональное покрытие и независимость от наземной инфраструктуры.

GEO

Геостационарные спутники располагаются на фиксированной орбите относительно поверхности Земли. Обеспечивают широкое покрытие, но имеют значительные задержки сигнала.

MEO

Спутники средней околоземной орбиты обеспечивают баланс между зоной покрытия и задержками.

Применяются в навигационных и связных системах.

LEO

Спутники низкой околоземной орбиты обеспечивают малые задержки и высокую пропускную способность. Используются в современных спутниковых группировках связи и передачи данных.

VSAT

VSAT — системы спутниковой связи с малыми земными станциями. Применяются для корпоративных сетей, удалённых объектов и резервных каналов связи.

DVB-S

DVB-S — стандарт спутниковой передачи цифровых данных и телевидения. Используется для широкоэмитательной и двусторонней спутниковой связи.

30. Космическая и сверхдальняя связь

Космическая и сверхдальняя связь предназначена для передачи информации между Землёй, космическими аппаратами и объектами за пределами околоземного пространства. Характеризуется экстремальными задержками, низким уровнем сигналов и высокими требованиями к надёжности.

CCSDS

CCSDS — набор стандартов связи для космических систем, определяющий протоколы телеметрии, командно-измерительной связи и передачи данных между космическими аппаратами и наземными станциями.

Deep Space Telemetry

Системы сверхдальней телеметрии обеспечивают передачу данных от межпланетных аппаратов.

Используют узкополосные каналы, мощные передатчики, высокочувствительные приёмники и специальные методы кодирования и коррекции ошибок.

ЧАСТЬ XI. НАВИГАЦИЯ И ПОИСК

31. Навигационные системы

Навигационные системы предназначены для определения положения, скорости, направления движения и времени. Они используют радиосигналы, передаваемые от опорных источников к приёмникам, и основаны на измерении времени распространения сигнала и геометрии расположения передатчиков.

Навигация не тождественна позиционированию. Позиционирование определяет координаты, навигация включает также временные и кинематические параметры, а также поддержку движения и маршрутизации.

GPS

GPS — глобальная спутниковая навигационная система, использующая группировку спутников на средних околоземных орбитах. Обеспечивает глобальное покрытие и определение координат и времени с высокой точностью.

A-GPS

A-GPS — вспомогательная технология, использующая наземные сети связи для ускорения определения положения и повышения надёжности приёма спутниковых сигналов.

GLONASS

GLONASS — глобальная спутниковая навигационная система, обеспечивающая независимое определение координат и времени. Использует собственную орбитальную конфигурацию и частотное разделение сигналов.

Galileo

Galileo — спутниковая навигационная система, обеспечивающая гражданские и специализированные сервисы навигации. Ориентирована на высокую точность и устойчивость.

BeiDou

BeiDou — глобальная навигационная система, обеспечивающая позиционирование, навигацию и синхронизацию времени. Поддерживает региональные и глобальные режимы работы.

LORAN (устар.)

LORAN — радионавигационная система дальнего действия, использующая наземные передатчики и временные разности сигналов. Применялась до широкого распространения спутниковых систем.

VOR

VOR — авиационная радионавигационная система ближнего действия. Используется для навигации воздушных судов относительно наземных радиомаяков.

32. Поисково-обнаружительные и маячные системы

Поисково-обнаружительные и маячные системы предназначены для обнаружения объектов, определения их местоположения и передачи сигналов бедствия. Используются в авиации, морском транспорте, туризме и аварийно-спасательных службах.

ELT

ELT — аварийные радиомаяки воздушных судов, автоматически активируемые при аварии. Передают сигнал бедствия для последующего обнаружения.

EPIRB

EPIRB — аварийные радиомаяки морских судов. Используются для передачи сигнала бедствия и координат при чрезвычайных ситуациях.

Аварийные маяки

Индивидуальные и групповые устройства, предназначенные для передачи сигнала бедствия и упрощения поиска пострадавших.

COSPAS-SARSAT

COSPAS-SARSAT — международная спутниковая система поиска и спасения. Обеспечивает приём сигналов аварийных маяков, определение их координат и передачу информации спасательным службам.

ЧАСТЬ XII. IoT, ДАТЧИКИ И СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

33. IoT-архитектуры

Интернет вещей представляет собой совокупность распределённых устройств, осуществляющих сбор, передачу и обработку данных без постоянного участия человека. IoT-системы строятся по архитектурным моделям, определяющим взаимодействие устройств, узлов агрегации и сервисов обработки данных.

Device–gateway

Архитектура, при которой конечные устройства передают данные на шлюз. Шлюз выполняет агрегацию, преобразование протоколов и передачу данных в вышестоящие системы. Используется при ограниченных ресурсах конечных устройств.

Mesh

Ячеистая архитектура, в которой устройства передают данные друг через друга. Обеспечивает отказоустойчивость и расширение зоны покрытия. Используется в сенсорных сетях и системах автоматизации.

Star

Звездообразная архитектура, при которой все устройства напрямую связаны с центральным узлом или базовой станцией. Характеризуется простой логикой и минимальными задержками.

34. Среды передачи IoT

Среда передачи в IoT-системах определяется требованиями к дальности, энергопотреблению, пропускной способности и надёжности.

Проводные

Используются в стационарных и промышленных IoT-системах. Обеспечивают высокую надёжность и предсказуемые параметры канала.

Радиоканалы

Применяются в большинстве IoT-устройств. Обеспечивают гибкость размещения и мобильность узлов.

LPWAN

Сети малой мощности и большой дальности предназначены для передачи небольших объёмов данных на значительные расстояния. Ориентированы на автономные устройства с длительным сроком службы.

Спутниковые

Используются для IoT-устройств в удалённых и труднодоступных районах. Обеспечивают глобальное покрытие при высокой задержке.

35. Сенсорные сети

Сенсорные сети объединяют большое количество датчиков для сбора и передачи измерительной информации. Характеризуются ограниченными ресурсами узлов и высокой плотностью размещения.

Wireless Sensor Networks

Беспроводные сенсорные сети используют радиоканалы для обмена данными между узлами и узлами агрегации. Поддерживают различные топологии и алгоритмы маршрутизации.

Event-driven сети

Сети, в которых передача данных инициируется событием, а не периодическим опросом. Позволяют снизить энергопотребление и нагрузку на канал.

36. Связь с исполнительными устройствами

Связь с исполнительными устройствами предназначена для передачи команд управления и получения состояния оборудования. Требуется высокой надёжности и предсказуемых задержек.

Modbus

Протокол обмена данными, широко применяемый в системах автоматизации и управления.

Используется поверх различных физических сред.

CAN

Применяется для управления исполнительными механизмами в реальном времени. Обеспечивает приоритет сообщений и устойчивость к помехам.

Proprietary fieldbus

Закрытые или специализированные полевые шины, разработанные для конкретных производителей или отраслей. Используются в специализированных системах управления.

часть 13 телеметрия

Телеметрия предназначена для удалённого измерения, передачи и анализа параметров состояния объектов и процессов. Телеметрические системы используются в промышленности, энергетике, транспорте, авиации, космических и научных системах.

Телеметрия может быть односторонней или двусторонней, аналоговой или цифровой, с требованиями от Non-Real-Time до Hard Real-Time.

Периодическая

Данные передаются через фиксированные интервалы времени.

Типовые технологии и протоколы:

4–20 мА, 0–10 В

Modbus RTU / TCP

CAN

Profibus

SNMP

MQTT (периодическая публикация)

CCSDS Telemetry

Событийная

Передача данных инициируется событием, аварией или выходом параметров за допустимые пределы.

Типовые технологии и протоколы:

Discrete I/O

CAN

EtherCAT

IEC 60870-5-104

DNP3

MQTT (event-driven)

CoAP

LoRaWAN (uplink события)

38. Управление

Системы управления предназначены для передачи управляющих команд и получения обратной информации от управляемых объектов. Характеризуются жёсткими требованиями к задержкам, надёжности и детерминизму.

Command / response

Управляющая система передаёт команду и ожидает подтверждение или результат выполнения.

Типовые технологии и протоколы:

Modbus

CANopen

DeviceNet

IEC 60870-5-101 / 104

DNP3

SCPI

CCSDS Telecommand

Автоматизация

Управление осуществляется автоматически на основе алгоритмов и обратной связи без участия

человека.

Типовые технологии и протоколы:

PLC fieldbus

PROFINET

EtherCAT

Powerlink

CAN

TSN (Time-Sensitive Networking)

OPC UA (client/server, pub/sub)

39. Связь как сервис

Связь как сервис классифицирует системы по типу предоставляемой функции независимо от физической среды передачи.

Голос

Передача речевой информации в реальном времени с минимальными задержками.

Типовые технологии и протоколы:

POTS

PCM

E1 / T1

SIP

RTP

VoIP

LTE VoLTE

5G VoNR

Данные

Передача цифровой информации без строгих требований к задержкам, но с требованиями к целостности и доставке.

Типовые технологии и протоколы:

Ethernet

IP

TCP

UDP

HTTP / HTTPS

FTP

MQTT

AMQP

CoAP

DDS

ЧАСТЬ XIV. ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

40. Автомобильные системы

Автомобильные системы связи предназначены для обмена данными между электронными блоками управления, датчиками, исполнительными механизмами и внешней инфраструктурой.

Характеризуются жёсткими требованиями к надёжности, задержкам и устойчивости к помехам.

Большинство систем работают в условиях реального времени.

CAN

CAN — базовая автомобильная шина, стандартизованная ISO 11898. Используется для обмена сообщениями между электронными блоками управления. Поддерживает приоритет сообщений, обнаружение ошибок и детерминированную доставку.

CAN FD

Расширение CAN с увеличенной длиной кадра и скоростью передачи данных. Применяется в современных автомобильных системах.

LIN

LIN — недорогая низкоскоростная шина, стандартизованная ISO 17987. Используется для второстепенных систем: климат-контроль, стеклоподъёмники, сиденья.

FlexRay

FlexRay — высоконадёжная и детерминированная шина, предназначенная для систем управления движением и безопасности. Поддерживает жёсткое реальное время.

Automotive Ethernet

Ethernet, адаптированный для автомобильной среды (IEEE 802.3, 100BASE-T1, 1000BASE-T1).

Используется для камер, радаров, мультимедиа и ADAS.

eCall

eCall — система автоматического экстренного вызова, использующая мобильную связь для передачи координат и голосового канала при ДТП.

41. Авиационные системы

Авиационные системы связи обеспечивают навигацию, управление воздушным движением, обмен данными между бортом и землёй и внутренние бортовые сети. Отличаются высокими требованиями к отказоустойчивости и сертификации.

VHF Airband

Радиосвязь в диапазоне VHF, используемая для голосовой связи между воздушными судами и диспетчерскими службами.

ADS-B

ADS-B — автоматическая система зависящего наблюдения. Передаёт данные о положении, скорости и высоте воздушного судна. Используется для мониторинга и управления воздушным движением.

ACARS

ACARS — система обмена короткими сообщениями между воздушными судами и наземными станциями. Используется для передачи служебных и эксплуатационных данных.

ARINC 429

ARINC 429 — односторонняя цифровая шина передачи данных в авиационных системах. Используется для обмена навигационной и управляющей информацией.

ARINC 664 (AFDX)

ARINC 664 — авиационный Ethernet с поддержкой детерминированной передачи и виртуальных каналов. Используется в современных авионических системах.

SATCOM

Спутниковая связь для авиации, обеспечивающая глобальный обмен данными и голосовую связь вне зоны наземного покрытия.

42. Морские и подводные системы

Морские и подводные системы связи обеспечивают навигацию, безопасность, управление судами и связь в надводной и подводной среде. Используют радиоканалы, спутниковые системы и акустическую связь.

GMDSS

GMDSS — глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности.

Использует радиосвязь, спутниковые каналы и автоматические маяки.

AIS

AIS — автоматическая идентификационная система судов. Передаёт данные о судне, его курсе и скорости для предотвращения столкновений.

VHF Marine

Морская радиосвязь в диапазоне VHF для голосовой и цифровой связи между судами и береговыми службами.

NAVTEX

NAVTEX — система передачи навигационных и метеорологических сообщений для судов. Работает в автоматическом режиме.

Подводная акустическая связь

Использует звуковые и ультразвуковые волны для передачи данных под водой. Применяется в подводных аппаратах, датчиках и военных системах.

ЧАСТЬ XV. СЛУЖЕБНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

43. Диспетчерские системы

Диспетчерские системы предназначены для координации действий персонала и подвижных объектов в реальном времени. Используются в службах безопасности, транспорте, энергетике и экстренных службах. Характеризуются приоритетным доступом к каналу, групповой связью и высокой надёжностью.

TETRA

TETRA — цифровой стандарт профессиональной радиосвязи, стандартизованный ETSI. Поддерживает групповую и индивидуальную связь, приоритеты вызовов, шифрование и режимы Direct Mode Operation.

P25

P25 — стандарт цифровой радиосвязи для служб общественной безопасности, стандартизованный APCO и TIA. Используется для голосовой и пакетной передачи данных с поддержкой шифрования.

DMR

DMR — цифровой стандарт радиосвязи, стандартизованный ETSI. Использует TDMA, поддерживает голос и данные, применяется в ведомственных и промышленных системах.

44. Промышленные и энергетические системы

Промышленные и энергетические системы связи предназначены для мониторинга, управления и защиты технологических процессов. Характеризуются требованиями к детерминизму, отказоустойчивости и совместимости оборудования разных производителей.

SCADA

SCADA — архитектура диспетчерского управления и сбора данных. Использует различные протоколы и каналы связи для мониторинга и управления распределёнными объектами.

PLC

PLC — программируемые логические контроллеры, взаимодействующие с датчиками и исполнительными механизмами по полевым шинам и промышленным сетям.

Релейная защита

Системы релейной защиты используют специализированные каналы связи для быстрого обнаружения аварийных режимов и отключения оборудования.

Типовые технологии и протоколы:

IEC 60870-5-101 / 104

IEC 61850

Modbus RTU / TCP

DNP3

PROFIBUS

PROFINET

EtherCAT

MMS

GOOSE

45. Защищённые системы связи

Защищённые системы связи предназначены для передачи информации с требованиями к конфиденциальности, целостности и доступности. Используются в государственных, военных и корпоративных инфраструктурах.

Криптографические каналы

Используют шифрование для защиты данных при передаче. Реализуются поверх различных физических и логических каналов.

Типовые технологии и протоколы:

IPsec

TLS

DTLS

SRTP

MACsec

ГОСТ-криптография

Изолированные сети

Физически или логически изолированные сети, не имеющие прямого подключения к публичным инфраструктурам. Используются для критически важных систем.

46. Военные системы связи

Военные системы связи обеспечивают управление войсками, передачу разведывательной информации и координацию действий в условиях помех и противодействия. Характеризуются живучестью, адаптивностью и высокой степенью защищённости.

Proprietary military systems

Специализированные системы с закрытыми протоколами и нестандартными радиоинтерфейсами.

Типовые технологии и подходы:

Frequency Hopping

Spread Spectrum

SATCOM Military

Tactical Data Links

Link 16

HF/VHF/UHF tactical radio

47. Медицинские системы связи

Медицинские системы связи предназначены для передачи данных о состоянии пациентов и управления медицинским оборудованием. Требуют высокой надёжности, точности и соответствия нормативным требованиям.

Медицинские трекеры

Устройства мониторинга физиологических параметров с передачей данных по беспроводным и

проводным каналам.

Импланты

Медицинские импланты используют специализированные низкоомные каналы связи для обмена данными с внешними устройствами.

Типовые технологии и протоколы:

Bluetooth Low Energy

IEEE 802.15.6

Wi-Fi

HL7

DICOM

Proprietary medical RF

часть 16 экстренной системы и системы связи

Экстренные системы предназначены для оповещения, координации и обеспечения связи при чрезвычайных ситуациях. Их ключевая особенность — выделенные каналы, ресурсы и режимы работы, а не «повышенный приоритет» в гражданских сетях. Допускается деградация качества радиодоступности и гарантированной доставки.

48. Массовое экстренное оповещение населения

Назначение — одновременная доставка сообщений неопределённому числу получателей в заданной зоне.

Сотовое ширококлеточное оповещение

Cell Broadcast — передача сообщений без установления соединений и без участия абонента.

Стандарты: 3GPP TS 23.041, ETWS, CMAS, EU-Alert, Public Warning System (PWS).

Радио- и телеклеточное оповещение

Использует служебные каналы вставки, а не перехват пользовательского сигнала.

Радио: AM/FM emergency override, RDS emergency flag, DRM Emergency Warning.

Телевидение: EAS, ATSC A/331, ATSC A/153, DVB Emergency Warning Signalling, CAP.

49. Массовое звуковое оповещение (PA / PAVA)

Назначение — немедленная акустическая доставка сигналов тревоги и голосовых инструкций.

Типы: сиренные системы, голосовое оповещение.

Архитектура: контроллер, усилители, громкоговорители, резервное питание.

Протоколы и стандарты:

100 V line audio, 600 Ω audio, tone activation;

SIP, RTP, AES67, Dante (AoIP);

EN 54-16, EN 54-24, ISO 7240-16, IEC 60849.

50. Связь и взаимодействие экстренных служб

Профессиональная радиосвязь (PMR)

Групповая и индивидуальная связь в зоне происшествия.

Стандарты: TETRA, TETRAPOL, DMR, APCO P25, VHF/UHF PMR, DMO.

Пакетная и статусная связь

Передача статусов, координат, коротких сообщений.

Технологии: Mobitex, SDS (TETRA), Packet Data Radio, store-and-forward.

Mission-Critical поверх сотовых сетей

Интеграция данных, голоса и видео.

Стандарты: 3GPP MCPTT, MCData, MCVideo.

51. Выделенные сотовые сети экстренных служб

Это не приоритет в гражданской сети, а отдельная логическая/физическая инфраструктура.

Концепция: выделенный диапазон, зарезервированные соты, отдельное ядро.

Реализации: FirstNet (Band 14), ESN, Public Safety LTE/5G.

Технологии: LTE/5G, QoS profiles, network slicing, isolated core, hardened BTS.

52. Экстренные вызовы и диспетчеризация

Экстренные номера — точки входа в систему реагирования.

Стандарты: 112, 911, E112, E911, NG112, NG911.

Диспетчеризация и обработка вызовов:

SIP, VoIP, CAD, GIS integration, AML.

53. Маячные и поисково-обнаружительные системы

Назначение — автономная инициация поиска при отсутствии двусторонней связи.

Авиационные маяки (ELT): COSPAS-SARSAT, 406 MHz, 121.5 MHz, GNSS-assisted.

Морские маяки (EPIRB): COSPAS-SARSAT, 406 MHz, GNSS, автоматический сброс.

Персональные маяки (PLB): 406 MHz, GNSS, COSPAS-SARSAT.

Радиолокационные ответчики (SART): X-band radar, IMO, GMDSS.

AIS-SART: AIS protocol, VHF, GNSS, отображение на ECDIS.

Подводные и локальные маяки: ULB, acoustic pingers, UWB, VHF/UHF beacons.

Общие свойства: one-way, автономное питание, международные стандарты, автоматическая активация.

Итог

Экстренные системы строятся на выделении и резервировании:

широковещание → PA/PAVA → PMR → mission-critical LTE/5G → диспетчеризация → маяки.

ЧАСТЬ XVII. ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Децентрализованные системы передачи информации строятся без единого центра управления. Узлы сети равноправны, принимают участие в маршрутизации, хранении и подтверждении данных.

Основные свойства — отказоустойчивость, масштабируемость и устойчивость к цензуре. Цена — задержки, сложность координации и избыточность.

52. Блокчейн-основанные и распределённые P2P-системы

Назначение — передача и фиксация данных в среде с недоверием между участниками. Используются в финансовых системах, распределённом хранении, учёте событий и управлении доступом.

P2P-оверлеи

Одноранговые сети поверх IP, где каждый узел может быть источником, приёмником и ретранслятором.

Типовые технологии и протоколы:

TCP / UDP

QUIC

Kademlia DHT

libp2p

NAT traversal (STUN / TURN / ICE)

Назначение:

обнаружение узлов

распределённая маршрутизация

распространение данных

Gossip-протоколы

Механизмы вероятностного распространения информации между узлами.

Типовые протоколы и подходы:

Gossip / Epidemic protocols

SWIM

HyParView

Назначение:

распространение состояний

масштабируемая синхронизация

устойчивость к отказам

Консенсус и согласование

Алгоритмы достижения согласия о состоянии системы без центрального арбитра.

Типовые алгоритмы:

Proof of Work

Proof of Stake

PBFT

RAFT

Paxos

HotStuff

Свойства:

детерминизм или вероятностная финальность

устойчивость к сбоям и злоумышленникам

компромисс между скоростью и безопасностью

Распределённые реестры и блокчейн

Системы неизменяемой фиксации событий и транзакций.

Типовые технологии:

Blockchain ledgers

Merkle trees

Hash chaining

Smart contracts (EVM-like)

Транспорт и интеграция:

P2P overlays

IPFS (content-addressed storage)

REST / gRPC gateways

Децентрализованное хранение и доставка контента

Системы хранения и доставки данных без центральных серверов.

Типовые технологии:

IPFS

Content-addressable storage

Erasur coding

Peer-assisted CDN

Общие характеристики децентрализованных систем

Отсутствие единой точки отказа

Избыточная передача и хранение

Нестабильные задержки

Сложная диагностика

Криптографическая идентификация узлов

Децентрализованные системы не заменяют классические сети связи, а дополняют их в задачах, где важнее устойчивость и доверие, чем минимальная задержка.

это дополнение добавляет технологии и Протоколы которые

а) были случайно пропущены при первоначальной сборке справочника;

б) полностью выведены из эксплуатации и заменены более современными решениями.

Дополнение не изменяет структуру глав 1–52 и служит для фиксации полноты и исторической границы справочника.

А. РАНЕЕ ПРОПУЩЕННЫЕ И НЕВЫНЕСЕННЫЕ КЛАССЫ

A1. RS-семейство последовательных интерфейсов

RS-232

RS-422

RS-485

Класс электрических интерфейсов последовательной передачи данных.

Используется в промышленности, автоматизации, SCADA и встроенных системах.

Определяет электрические уровни, топологию, режимы передачи и длины линий.

A2. PCS / PCN (Personal Communications)

PCS

PCN

Регуляторно-частотные и архитектурные классы персональной радиосвязи, предшествующие и сопровождающие развитие цифровых сотовых сетей.

Легли в основу диапазонов GSM/DCS/PCS.

A3. DECT

DECT

DECT GAP

DECT IP

Цифровая беспроводная телефония ближнего радиуса действия.

Не относится к Wi-Fi и не является мобильной сотовой связью.

A4. Trunked Radio Systems

MPT-1327

EDACS

LTR

Архитектурный класс профессиональных радиосистем с динамическим распределением каналов.

Предшественник современных цифровых диспетчерских стандартов.

A5. Пейджинговые системы

Paging

POCSAG

FLEX

Односторонние адресные системы передачи коротких сообщений.

Использовались в дежурных, медицинских и экстренных службах.

A6. ISM-диапазоны как регуляторный класс

433 МГц

868 МГц

915 МГц

Нелицензируемые диапазоны радиоспектра.

Не являются протоколами, но служат основой для множества технологий IoT и управления.

A7. Радиотелеметрия и SCADA-radio

Telemetry radio

Polling radio

SCADA radio links

Класс лицензируемых радиосистем для телеметрии и управления в энергетике, промышленности и инфраструктуре.

A8. Сигнальные сети как отдельный слой

Out-of-band signaling networks

SS7 signaling network

Сети передачи управляющей информации, физически и логически отделённые от пользовательского трафика.

A9. Служебное радиовещание времени

DCF77

WWVB

MSF

Системы передачи эталонного времени и синхронизации.

Относятся к вещанию, но не к медийному контенту.

A10. DOCSIS

DOCSIS

Стандарт передачи IP-трафика поверх кабельных телевизионных сетей.

Мост между телевидением и компьютерными сетями.

A11. Спутниковая телефония

Iridium

Globalstar

Inmarsat

Thuraya

Класс телефонии с использованием спутниковых каналов как основного транспорта.

Архитектуры: LEO / MEO / GEO.

Интеграция с PSTN, ISDN и SIP-шлюзами.

A12. Broadcast Override и PA/PAVA

AM/FM emergency override

RDS emergency flag

DRM Emergency Warning

EAS

ATSC A/331

DVB Emergency Warning

CAP

PA/PAVA:

100 V line

Tone activation

SIP

RTP

AES67

Dante

EN 54-16 / EN 54-24 / ISO 7240-16

A13. Выделенные сети экстренных служб

FirstNet

Public Safety LTE

Mission-Critical LTE/5G

MCPTT

MCDATA

MCVideo

Isolated core

Network slicing

В. ПОЛНОСТЬЮ ВЫШЕДШИЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ

В1. Механические системы связи

Семафоры

Сигнальные флаги

Механические кодовые устройства

Заменены: электрическими, радиочастотными и цифровыми системами.

В2. Электромеханическая связь

Телеграф Морзе (как сеть)

Телеграф Бодо

Релейные телеграфные линии

Декадно-шаговые АТС

Заменены: цифровой телефонией и IP-сетями.

В3. Электроламповые системы

Ламповые передатчики

Ламповые приёмники

Ламповая телефония

Заменены: транзисторными и цифровыми системами.

B4. Аналоговые проводные системы

Аналоговые импульсные линии

Аналоговые телеметрические магистрали

Заменены: цифровыми полевыми шинами и Ethernet-системами.

B5. Устаревшие системные шины

ISA

PCI (параллельный)

PCI-X

Заменены: PCI Express и серийными интерфейсами.

B6. Аналоговая телефония

POTS

Аналоговые АТС

Аналоговые магистрали

Заменены: VoIP, SIP, IMS.

B7. Устаревшие цифровые телефонии

ISDN (BRI/PRI)

Канальная коммутация в ядре

Заменены: IP-телефонией и softswitch-архитектурами.

B8. Устаревшие мобильные системы

AMPS

NMT

TACS

Практически выведены:

GPRS

EDGE

UMTS (3G)

Заменены: LTE / LTE-A / 5G NR.

B9. Устаревшие радиорежимы данных

RTTY

Аналоговая радиотелеметрия

Заменены: цифровыми радиопротоколами и IP-over-radio.

B10. Аналоговое радиовещание (частично)

LW (ДВ) — выведено

AM MW/SW — в стадии закрытия

Заменены: FM, DAB+, DRM.

B11. Аналоговое телевидение

PAL

SECAM

NTSC

Заменены: DVB-T/T2, ATSC, ISDB-T.

B12. Аналоговое кабельное ТВ

Одностороннее аналоговое CATV

Заменено: DOCSIS, IPTV, FTTH.

B13. Ранние спутниковые системы

Аналоговая спутниковая телефония

Заменена: цифровыми спутниковыми системами.

B14. Пейджинг как массовая система

Paging

POCSAG

FLEX

Заменены: SMS, Push, Cell Broadcast.

B15. Аналоговые диспетчерские радиосистемы

Аналоговые PMR

Ранние trunked-системы

Заменены: TETRA, APCO P25, MC-LTE/5G.

B16. Устаревшие SCADA-протоколы

Аналоговые и проприетарные SCADA

Заменены: IEC 60870-5-104, IEC 61850, OPC UA.

B17. Устаревшие системы оповещения

Ручные сиренные сети

Заменены: IP-PA, PAVA, Cell Broadcast, Broadcast Override.

B18. Устаревшие навигационные системы

LORAN (классический)

Заменён: GNSS-системами.

ИТОГ

Сводное дополнение:

— возвращает ранее упущенные технологические классы

— фиксирует окончательно выведенные из эксплуатации системы

— чётко отделяет историю от действующей практики

— не нарушает архитектуру справочника

После включения данного дополнения справочник считается методически и технически завершённым.

ДОПОЛНЕНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ НА ГРАНИ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

(legacy / sunset / limited support)

Настоящее дополнение фиксирует технологии и стандарты систем связи, которые формально ещё эксплуатируются, но:

- не развиваются;
- не рекомендуются к внедрению;
- поддерживаются ограниченно;
- планоно выводятся операторами и производителями.

Для каждой группы указано текущее состояние и типичная замена.

C1. Аналоговая радиосвязь общего назначения

Состояние: legacy / local use

AM (служебная радиосвязь)

FM (узкополосная аналоговая)

Причины деградации:

низкая спектральная эффективность

отсутствие шифрования

ограниченная адресация

Заменяется:

DMR

TETRA

APCO P25

цифровыми PMR-системами

C2. Аналоговые PMR-системы

Состояние: sunset

Аналоговые VHF / UHF PMR

аналоговые диспетчерские сети

Причины:

отсутствие групповой логики

нет передачи данных

регуляторное давление

Заменяются:

TETRA

DMR Tier II / III

MC-LTE / MC-5G

C3. DMR Tier I / простые цифровые радиостанции

Состояние: ограниченная поддержка

DMR Tier I

цифровые “рации без инфраструктуры”

Причины:

ограниченная масштабируемость

нет QoS

нет интеграции

Заменяются:

DMR Tier II / III

TETRA

LTE-based решения

C4. DECT (классическая телефония)

Состояние: legacy

DECT GAP

классические DECT-ATC

Причины:

смещение телефонии в IP

сокращение корпоративной голосовой связи

Заменяется:

VoIP

Wi-Fi Calling

DECT IP (ограниченно)

C5. ISDN (последние сегменты)

Состояние: sunset

ISDN BRI

ISDN PRI

Причины:

дороговизна поддержки

полный уход операторов

Заменяется:

SIP Trunk

VoIP

C6. E1 / T1 как сервис

Состояние: legacy

E1

T1

Причины:

жёсткая канальная структура

неэффективность

Заменяется:

Ethernet

IP/MPLS

C7. SS7 в классическом виде

Состояние: ограниченная поддержка

SS7 (TDM-based)

Причины:

уязвимости

переход на IP-сигнализацию

Заменяется:

SIGTRAN

Diameter

IMS signaling

C8. 2G GSM (в ряде регионов)

Состояние: sunset / residual

GSM

GPRS

EDGE

Причины:

освобождение спектра

энергоэффективность

Остаточное применение:

M2M

старые IoT

Заменяется:

LTE

NB-IoT

LTE-M

C9. 3G UMTS / HSPA

Состояние: sunset

UMTS

HSPA

Причины:

низкая эффективность

отсутствие стратегического развития

Заменяется:

LTE

5G NR

C10. WiMAX

Состояние: фактически выведен, legacy

WiMAX (802.16)

Причины:

поражение в экосистеме

отсутствие поддержки

Заменяется:

LTE

5G FWA

C11. DOCSIS 2.0 / ранние версии

Состояние: legacy

DOCSIS 2.0

DOCSIS 3.0 (частично)

Причины:

ограничения скорости

асимметрия

Заменяется:

DOCSIS 3.1

DOCSIS 4.0

FTTH

C12. Аналоговое FM-радиовещание (долгосрочный sunset)

Состояние: долгий sunset

FM Radio

Причины:

спектральная неэффективность

рост цифрового вещания

Заменяется:

DAB / DAB+

DRM

Internet Radio

C13. AM-радиовещание (MW / SW)

Состояние: sunset / niche

AM MW

AM SW

Причины:

низкое качество

энергозатраты

Заменяется:

FM

DRM

цифровыми платформами

C14. DVB-T (первое поколение)

Состояние: legacy

DVB-T

Причины:

ограниченная ёмкость

Заменяется:

DVB-T2

C15. DVB-S (первое поколение)

Состояние: legacy

DVB-S

Заменяется:

DVB-S2

DVB-S2X

C16. IrDA и ИК-порты

Состояние: legacy

IrDA

IR data ports

Причины:

малый радиус

низкая скорость

Заменяется:

Bluetooth

Wi-Fi

C17. RS-232 в пользовательских системах

Состояние: legacy

RS-232 (PC/office)

Причины:

низкая скорость

неудобство

Остаётся:

промышленность

встроенные системы

Заменяется:

USB

Ethernet

C18. Proprietary fieldbus (часть)

Состояние: ограниченная поддержка

старые проприетарные fieldbus

Причины:

закрытость

дороговизна

Заменяется:

Ethernet-based fieldbus

OPC UA

C19. Paging (остаточная эксплуатация)

Состояние: niche / sunset

Paging

POCSAG

Остаётся:

медицина

резервные каналы

Заменяется:

Cell Broadcast

Push-системы

C20. SCADA по узкополосному радио (частично)

Состояние: ограниченная поддержка

узкополосные polling radio

Причины:

низкая скорость

ограниченная диагностика

Заменяется:

LTE/5G private

IP radio

satellite IoT

C21. Частные спутниковые сети старых поколений

Состояние: legacy

ранние спутниковые M2M-сети

Заменяется:

современные LEO IoT-системы

СПРАВОЧНИК

Системы передачи информации, связи, телеметрии и управления

ПРИЛОЖЕНИЯ И СКВОЗНЫЕ МАТРИЦЫ

А. Сквозная классификация систем связи

Любая система связи в рамках справочника описывается одновременно по нескольким независимым осям. Ни одна ось не является главной.

Среда передачи

механическая

электрическая проводная

радиочастотная

оптическая

акустическая

Тип сигнала

аналоговый

дискретный

цифровой

Синхронность

синхронная

асинхронная

событийная

Направленность

односторонняя

двусторонняя

широковещательная

групповая

Подвижность

неподвижная

подвижная

гибридная

Временные требования

Hard Real-Time

Soft Real-Time

Non-Real-Time

В. Матрица «среда → канал → протокол → сервис»

Среда не определяет сервис напрямую.

Один и тот же сервис может быть реализован поверх разных сред.

Пример:

радио → LTE → IP → голос

оптика → Ethernet → IP → телеметрия

акустика → proprietary → telemetry → подводная связь

Запрещено смешивать уровни в описании системы.

С. Матрица радиосистем

Для любой радиосистемы обязательно указываются:

диапазон частот

тип модуляции

ширина канала

протокол доступа

режим работы

Пример:

VHF / FM / 25 kHz / TETRA / DMO

Формулировки вида «просто радио» считаются некорректными.

D. Матрица мобильных систем

Для мобильных систем обязательно указываются:

поколение (2G / 3G / 4G / 5G)

радиоинтерфейс

band

режим ядра (CS / PS / NSA / SA)

Пример:

LTE / OFDMA / Band 20 / PS core

E. Матрица экстренных систем

Экстренные системы классифицируются по режиму доступа, а не по «важности».

выделенная инфраструктура

резервированная инфраструктура

гражданская инфраструктура с профилями MC

Приоритет ≠ резерв ≠ выделение.

F. Матрица маячных систем

Для маячных систем указываются:

инициатор (авто / ручной)

частота

тип канала (спутник / радио / радар)

наличие GNSS

тип ответа (one-way / homing)

G. Терминологические запреты

IP ≠ интернет

радиосвязь ≠ мобильная связь

навигация ≠ позиционирование

приоритет ≠ выделенная сеть

протокол ≠ сервис

Использование терминов вне их уровня считается ошибкой.

H. Правила использования справочника

Одна доменная глава — одна логическая область.

Технологии не дублируются без необходимости.

Устаревшие системы включаются, если они применялись на практике.

Маркетинговые названия не используются как технические